

# PAM4信号発生とBER測定ソリューション

シグナル クオリティ アナライザ MP1800A シリーズ

#### はじめに

近年、スマートフォンの普及とクラウドコンピューティングの進展により、 データセンターで扱われるデータ量は急激に増加しています。これら大容 量のデータを、より高速に伝送するため、イーサネットの通信規格は 100GbEの商用化が進む中、次世代大容量伝送を担う400GbEの標準化が 進められています。

高速大容量伝送を実現するための伝送技術は、従来からのNRZ信号方式によるシンボルレートの高速化とともに、シンボルレートを上げずに伝送容量を増加させるPAM(Pulse Amplitude Modulation)方式がさまざまな規格で採用されています。

本書では、200GbE/400GbEなどの次世代伝送規格で採用されているPAM4信号方式に対応したシグナル クオリティ アナライザ MP1800Aの測定ソリューションを紹介します。

#### PAM4方式が採用される高速インターコネクト規格

#### Optical Interface

	Standard	Distance	Format	Baud Rate
400G	400G BASE-SR16	100 m	NRZ	26.6G
	400G BASE-DR4	500 m	PAM4	53.1G
	400G BASE-FR8	2 km	PAM4	26.6G
	400G BASE-LR8	10 km	PAM4	26.6G
200G	200G BASE-SR4	100 m	PAM4	26.6G
	200G BASE-DR4	500 m	PAM4	26.6G
	200G BASE-FR4	2 km	PAM4	26.6G
	200G BASE-LR4	10 km	PAM4	26.6G
	100G BASE-SR10	100/150 m	NRZ	10.3G
	100G BASE-SR2	100 m	PAM4	26.6G
	100G BASE-DR	500m	PAM4	53.1G
	100G BASE-SR4	70/100 m	NRZ	25.8G
100G	100G SWDM	400 m	NRZ	25.8G
	100G PSM4	500 m	NRZ	25.8G
	CWDM4/CLR4	2 km	NRZ	25.8G
	100G BASE-LR4	10 km	NRZ	25.8G
	100G BASE-ER4	40 km	NRZ	25.8G
	50G BASE-SR	100 m	PAM4	26.6G
50G	50G BASE-FR	2 km	PAM4	26.6G
	50G BASE-LR	10 km	PAM4	26.6G
	25G BASE-SR	100 m	NRZ	25.8G
25G	25G BASE-FR	2 km	NRZ	25.8G
	25G BASE-LR	10 km	NRZ	25.8G

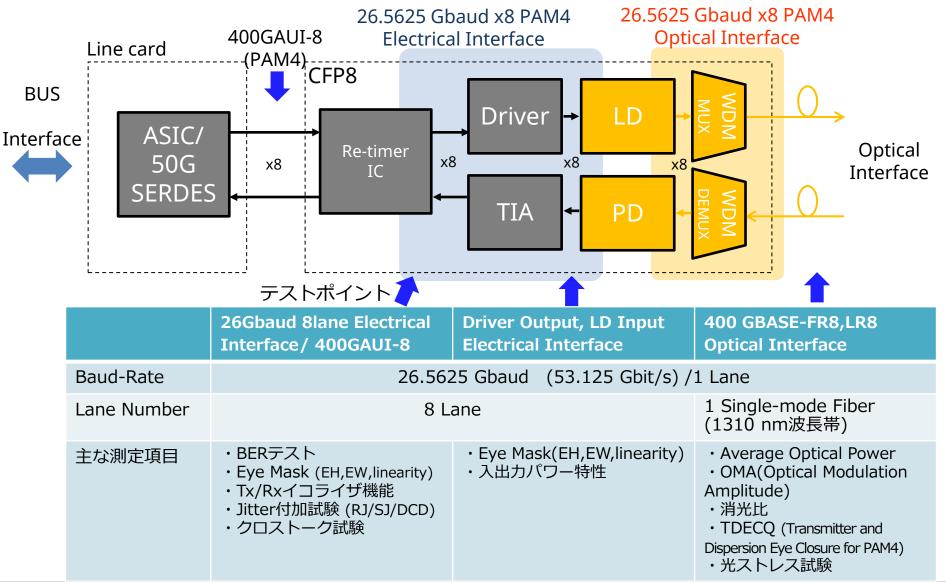
#### Electrical Interface

	Standard IEE802.3bs	Forma	at Baud Rate
400G	400GAUI-16	NRZ	26.6G
400G	400GAUI-8	PAM4	26.6G
2000	200GAUI-8	NRZ	26.6G
200G	200GAUI-4	PAM4	26.6G
1000	CAUI-10	NRZ	10.3G
100G	CAUI-4	NRZ	25.8G
50G	50GAUI	PAM4	26.6G
25G	25GAUI	NRZ	25.8G

	Standard IEE802.3cd	Format	Baud Rate
2000	200G BASE-CR4	PAM4	26.6G
200G	200G BASE-KR4	PAM4	26.6G
	100G BASE-CR4	NRZ	25.8G
	100G BASE-KR4	NRZ	25.8G
100G	100G BASE-KP4	PAM4	13.6G
	100G BASE-CR2	PAM4	26.6G
	100G BASE-KR2	PAM4	26.6G
F0C	50G BASE-CR	PAM4	26.6G
50G	50G BASE-KR	PAM4	26.6G

# 高速PAM4信号のアプリケーション例 (1)

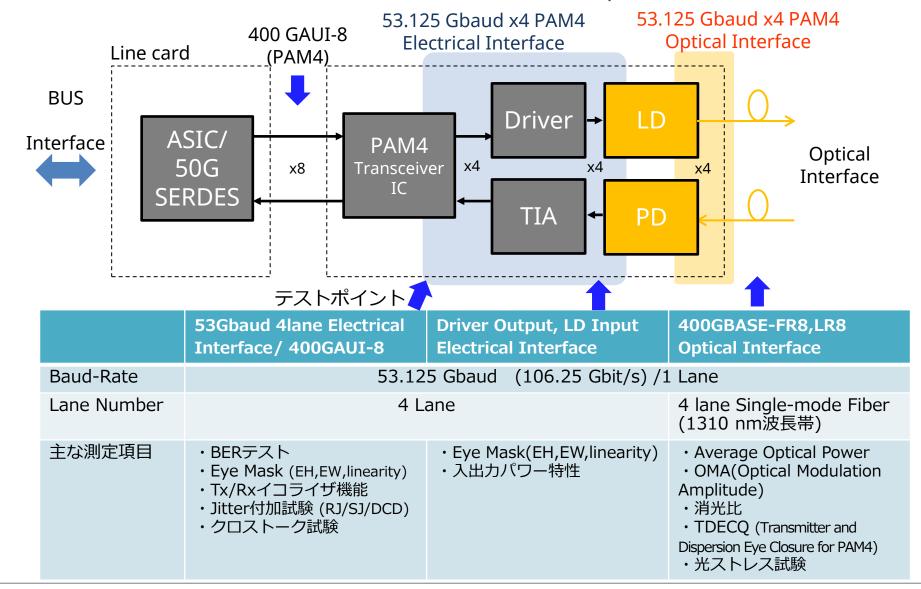
• 26.5625 Gbaud 400GAUI-8 Electrical and 400GBASE-FR8,LR8 Optical Interfaces





# 高速PAM4信号のアプリケーション例 (2)

• 53.125 Gbaud 4 lane Electrical and 400GBASE-DR4 Optical Interfaces





#### MP1800AシリーズPAM4測定ソリューションの特長

- 高Baudレート 64 Gbaud PAM4/NRZ 両方に対応
- 32 Gbaud 4ch PAM4発生可能な伝送容量 (256 Gbit/s/MP1800A 1台)
- 優れた拡張性
  - 32 Gbaud PAM4 4chマルチチャネル
  - 64 Gbaudへの拡張が可能
- 低残留ジッタ高品質出力波形
- 高振幅PAM4出力 (G0375A+32G PPG)
- 高入力感度エラー検出
- 28 Gbaud CTLE, CDR機能対応 (G0376A+32G ED)
- ジッタ付加機能によるレシーバテスト対応

将来に渡って活用でき る測定器構成

検証効率を機能・性能 面からサポート

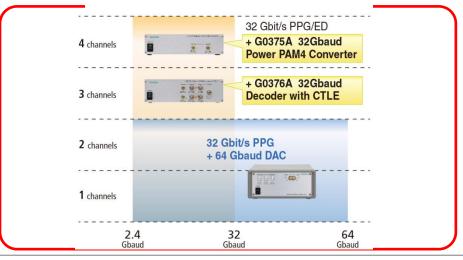
#### 「PAM4 対応アプリケーション]

- 28 Gbaud PAM4 IC, Backplane, Active Optical Cable, CEI-56G-PAM4
- 53 Gbaud/26 Gbaud, 200GbE/400GbE 光モジュール, 光デバイス, IC

#### NRZ/Multi-channel Solution

#### 32 Gbit/s 4TAP Emphasis Emphasis 5 8 channels 7 channels 32 Gbit/s PPG/ED 6 channels 5 channels 4 channels 3 channels 64 Gbit/s MUX/DEMUX 14 Gbit/s 2 channels PPG/ED 1 channel 0.1 30 50 10 20 40 Gbit/s Gbit/s Gbit/s

#### PAM4/Multi-channel Solution





# 推奨PAM4 BER測定対応機器 (1)

#### 32 Gbaud標準構成

Model	Name	Option	Qty	Remark
MP1800A	シグナルクオリティアナライザ	001, 002, 007, 015, 032	1	
MU181000B	12.5 GHz 4ポートシンセサイザ	-	1	
MU181500B	ジッタ変調源	-	1	ジッタ耐力試験用
MU183020A	28G/32Gbit/s PPG	022または023, 031	1	PAM4 Linearity制御時は2台
G0375A MZ1834A/B MZ1838A	32Gbaud Power PAM4 Converter 4PAM コンバータ 8PAM コンバータ	-	1	出力振幅性能より1つを選択
MU183040B	28G/32Gbit/s High Sensitivity ED	010 または 020, 022	1	010: 1 ch 3 Eye シーケンシャ ルBER測定時 020, 022: G0376Aとセットで、 トータルBER測定時
G0376A	32Gbaud PAM4 Decoder with CTLE	-	1	MU183040B-020,022とセット でトータルBER測定時



# 推奨PAM4 BER測定対応機器 (2)

#### 64 Gbaud標準構成

Model	Name	Option	Qty	Remark
MP1800A	シグナルクオリティアナライザ	001, 002, 007, 015, 032	1	
MU181000B	12.5 GHz 4ポートシンセサイザ	-	1	
MU181500B	ジッタ変調源	-	1	ジッタ耐力試験用
MU183020A	28G/32Gbit/s PPG	022, 031	2	オプション023でも可
MU183040B	28G/32Gbit/s High Sensitivity ED	020	1	
G0374A	64Gbaud PAM4 DAC	-	1	
MP1862A	56G/64Gbit/s DEMUX	-	1	



### PAM4信号発生について (1)

- 低残留ジッタ高品質出力波形により設計検証効率化に貢献
- 測定アプリケーション、Baudレートに応じて拡張可能な機器構成
- 外部アンプ無しで光変調器を直接駆動可能な高振幅PAM4出力 (G0375A)

	32 Gbaud信号発生 PAM4 Converter MZ18xx/G0375A + MU18302xA PPG	64 Gbaud信号発生 G0374A/G0361A + MU18302xA PPG(4ch)
Baud-Rate	$2.4\sim32.1$ Gbaud ( $4.8\sim64.2$ Gbit/s)	$4.8 \sim$ 64 Gbaud (9.6 $\sim$ 128 Gbit/s)
Tr/Tf (20-80 %)	Typ. 12 ps	Typ. 8 ps
Amplitude (Single-End)	・MZ1834A + 2ch PPG 0.238 ~ 0.475 V (w/ 2V option PPG) 0.238 ~ 0.832 V (w/ 3.5V option PPG) ・MZ1834B + 2ch PPG 0.376 ~ 0.753 V (w/ 2V option PPG) 0.376 ~ 1.318 V (w/ 3.5V option PPG) ・MZ1838A + 3ch PPG (PAM4 Linearity制御対応) 0.119 ~ 0.378 V (w/ 2V option PPG) 0.119 ~ 0.662 V (w/ 3.5V option PPG) ・G0375A + 2chまたは3ch PPG 1.5 ~ 2.2 V	0.7 V(typ.) > 6 dB controllable

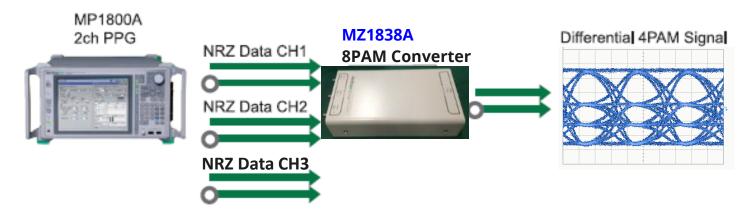


### PAM4信号発生について (2)

・32 Gbaud PAM4信号発生1 (3 Eye 均等または対称レベル可変対応)



・32 Gbaud PAM4信号発生2(3 Eye 独立レベル可変によるLD、光デバイス評価へ対応)



### PAM4信号発生について (3)

・32 Gbaud 高振幅PAM4信号発生 <u>高振幅PAM4出力</u> 2.2 Vp-p (Single-end), 4.4 Vp-p (Differential) <u>クリーンEye・低ジッタ</u> <u>小型リモートヘッド</u> <u>エンファシス出力 (MP1825Bとのセットにて)</u>



(\*) CH3はPAM4 Linearity制御時に使用

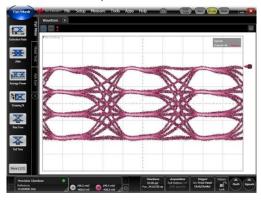
### PAM4信号発生について (4)

➤ MZ1834A/B PAM4代表波形

低残留ジッタ高品質出力波形により正確なEyeマージン測定や再現性の高い測定をサポート

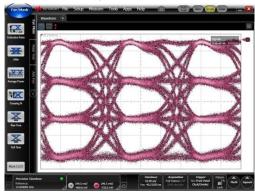
MZ1834A

28 Gbaud, 0.832 V

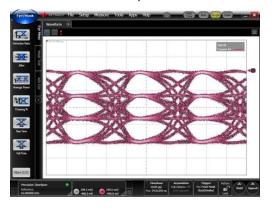


MZ1834B

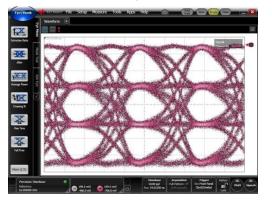
28 Gbaud, 1.318 V



32.1 Gbaud, 0.832 V



32.1 Gbaud, 1.318 V



J1439A 80 cm cable + 41V-6 Attenuator + 70-GHz Band Oscilloscopeにて観測



# PAM4信号発生について (5)

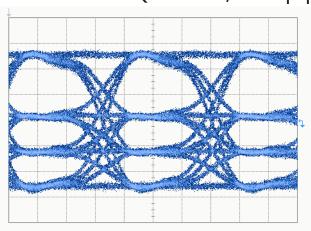
➤ MZ1838A PAM4代表波形

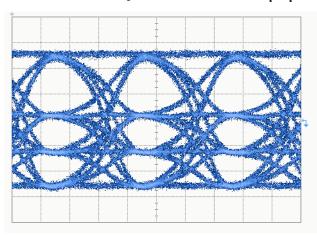
Linearity制御によりトランスミッタリニアリティ試験やストレスレシーバ試験に対応

26.5625 Gbaud QPRBS13, 0.5 Vp-p

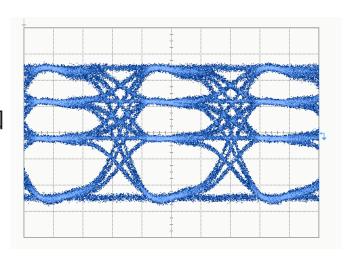
32.1 Gbaud QPRBS13, 0.5 Vp-p

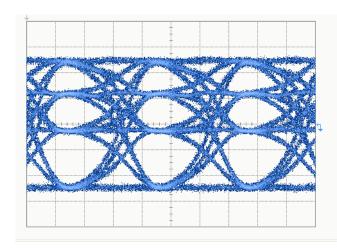
Upper Eyeの開口 を大きくした例





Lower Eyeの開口 を大きくした例

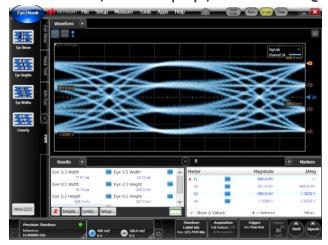




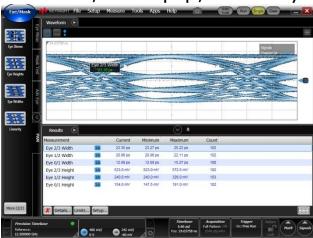
### PAM4信号発生について (6)

➤ G0375A PAM4代表波形

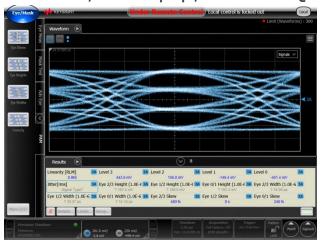
28 Gbaud, 2.0 Vp-p, PRBS13Q



25 Gbaud, 2.0 Vp-p, Linearityを制御



28 Gbaud, 0.9 Vp-p, PRBS13Q

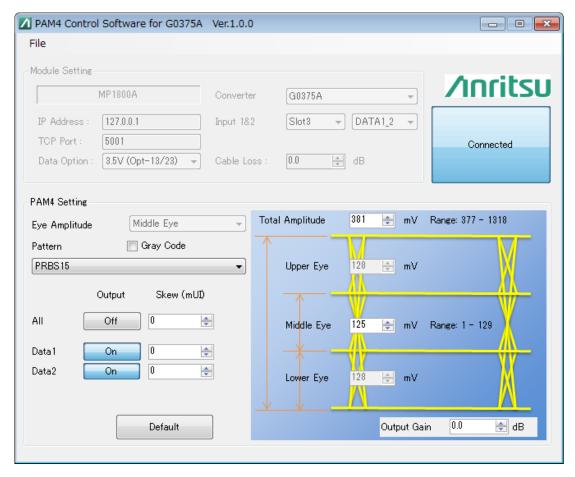


J1728A 40 cm cable + 41V-20 Attenuator + 70-GHz Band Oscilloscopeにて観測



# PAM4信号発生について (7)

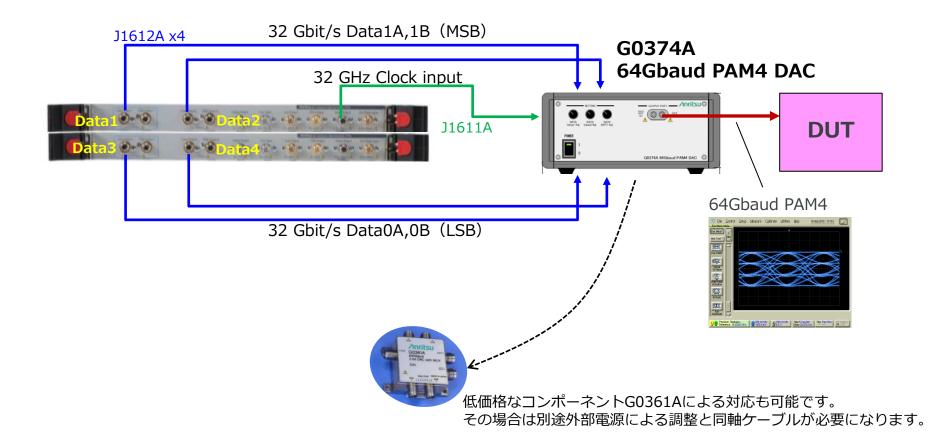
- ➤ PAM Controlソフトを使ったPAM4信号のレベル、パターン制御画面例
  - Upper, Middle, Lower 各Eye振幅を独立制御可能 (G0375A, MZ1838A使用時)
  - パターンの設定が制御ソフトウェア上から可能





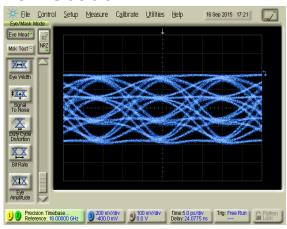
### PAM4信号発生について (8)

▶ 64 Gbaud PAM4信号発生(G0374A + MU18302xA PPG (4 ch)) 64 Gbaudレートへ少ない追加投資で拡張可能

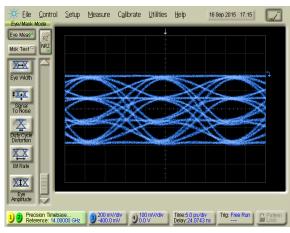


# PAM4信号発生について (9)

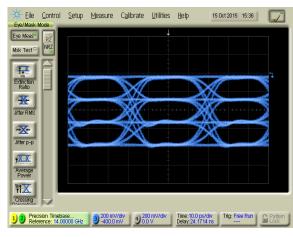
- ➤ G0374A/G0361A代表波形 (41V-6 Attenuator +34VV50 Adapter + 70 GHz Band Oscilloscopeにて観測) 低残留ジッタと高速Tr/Tf 波形により正確な再現性の高い測定を実現
- PAM4 64 Gbaud



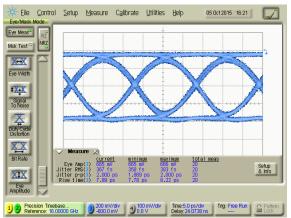
56 Gbaud



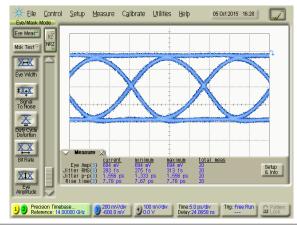
28 Gbaud



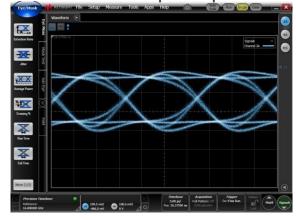
NRZ64 Gbaud



56 Gbaud



56Gbaud 2Tap Emphasis





### MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (1)

- 高入力感度BER測定(Eye Height 10 mV@28.1 Gbaud, 25 mV@56.2 Gbaud)
   により設計検証効率化に貢献
- 56 GbaudのBER測定に対応\*

	32 Gbaud BER測定 MU183040BまたはMU183041B 28 G/32 Gbit/s High Sensitivity ED	64 Gbaud BER測定 MP1862A 56 G/64 Gbit/s DEMUX +MU183040B 28 G/32 Gbit/s High Sensitivity ED
Baud-Rate	2.4 $\sim$ 32.1 Gbaud (4.8 $\sim$ 64.2 Gbit/s)	4.8 $\sim$ 56* Gbaud (9.6 $\sim$ 112 Gbit/s)
Data入力	差動入力 入力振幅 1.0 Vp-p maximum	
入力感度	MU18304xB Data入力 Typ.10mV Eye Height@28.1 Gbaud	MP1862A Data入力 Typ. 25 mV Eye Height@56.2 Gbaud
測定方式	3つのEyeを1ch EDによるシーケンス自動測定、または3ch EDによる同時測定	3つのEyeを1ch EDによりマニュアル測定



<sup>\* 56</sup> Gbaud(代表性能)までPRBS15パターン、G0374A/G0361A-MP1862Aのループバックでエラーフリー

# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (2)

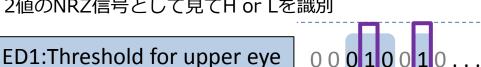
- ➤ MP1800AシリーズによるBER測定のしくみについて
- 2ch NRZ信号の合成によるPAM4信号発生

 PPG1
 00222020...
 (MSB)

 PPG2
 01010011...
 (LSB)

 PAM4
 01232031...

• PAM4 BER 測定 Upper, Middle, Lower Eyeそれぞれを 2値のNRZ信号として見てH or Lを識別



(LSB pattern for "2" and "3" levels)

ED2:Threshold for middle eye

00222020...

(MSB pattern)

ED3:Threshold for lower eye

01111011..

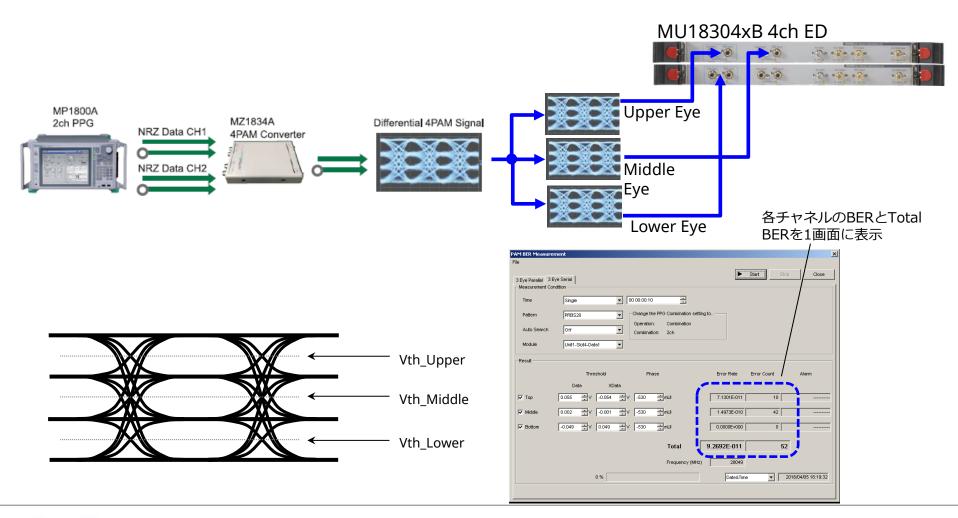
(LSB pattern for "0" and "1" levels)

↑ED1,2,3は、3 ch EDによる同時測定、 または、1 ch EDによるシーケンス測定に て実現 3 Eye用受信パターンはPPG1(MSB),PPG2(LSB) パターンを基に設定。LSB "2","3"レベルをED1、"0","1"レベルをED3で測定



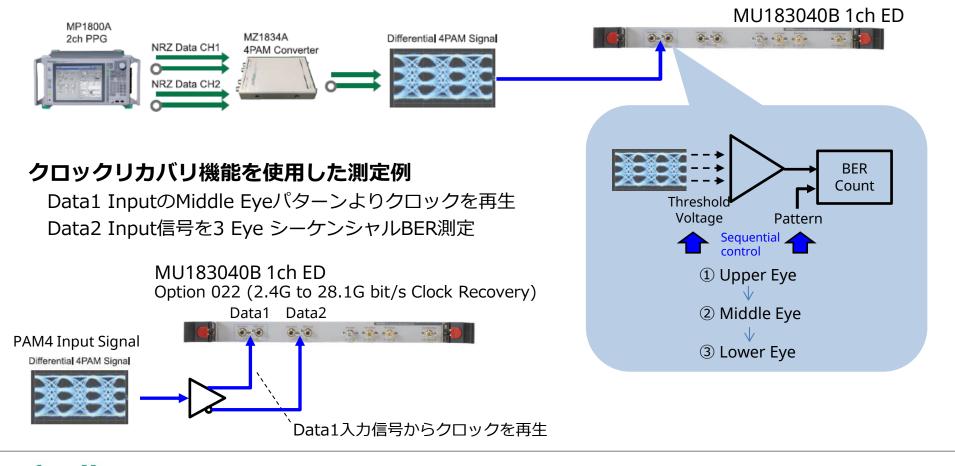
### MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (3)

▶ 32 Gbaud 3 ch EDによるPAM4 BER測定: 3ch EDと冗長ビットのMask機能併用により、PAM4 3 Eye (Upper/Middle/Lower) をリアルタイムかつ正しくBER測定を行い、トータルBER結果を算出します。



# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (4)

- ➤ 32 Gbaud 1ch EDによるBER測定:
- オートサーチとPAM4 3 Eye (Upper/Middle/Lower) のBER測定を連続的に行い、トータルBER結果を算出する低コストな1ch EDを使用したPAM BER測定を提供します。
- 32G EDの高入力感度性能(Typ. 10 mV Eye Height)を活かした測定が可能です。
- クロックリカバリ機能を使用したPAM4 BER測定が可能

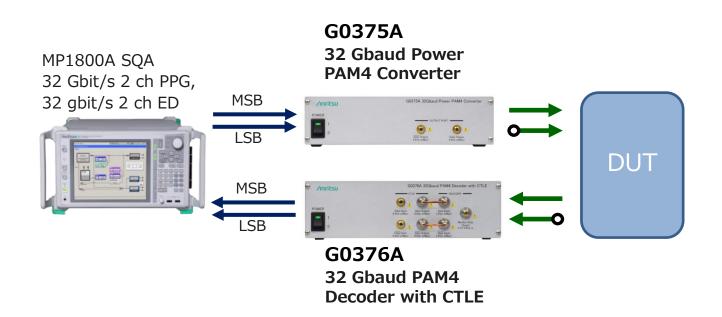




# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (5)

G0376A 32Gbaud Decoder with CTLEによるPAM4 True BER測定に対応

- 32 Gbaud PAM4 True BER測定
- <u>高入力感度</u> (Eye Height 40 mV@28 Gbaud)
- <u>調整可能 CTLE</u> (Gain -12 to 0 dB)
- CDR機能 (MU183040B-022とセットにて)

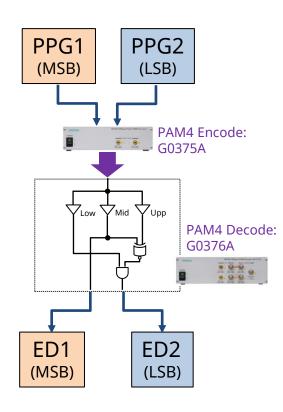




# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (6)

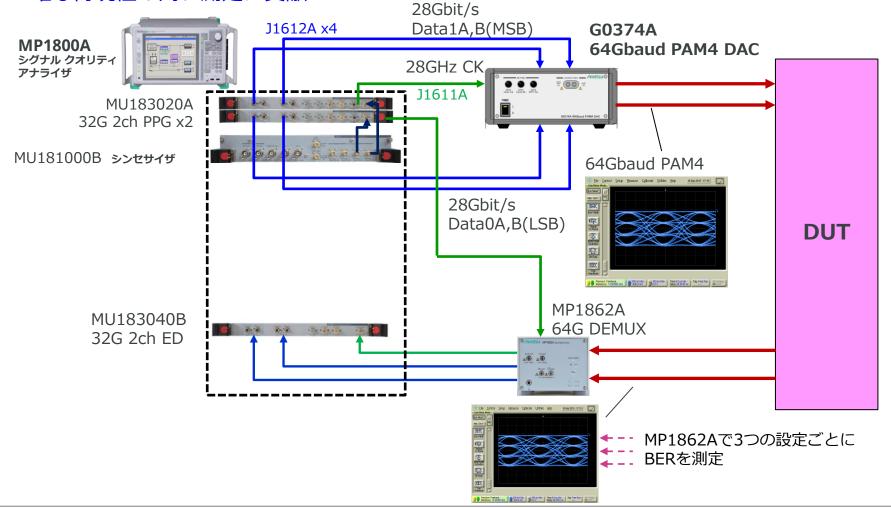
➤ 32G 2 ch BERT(MSB/LSB)と、PAM4 Converter/Decoderを組み合わせ、 NRZ/PAM4の両方のBER測定に対応

PPG1 00222020... (MSB) PPG2 01010011... (LSB) (PAM4 Encode : **G0375A**) PAM4 01232031... (PAM4 Decode : **G0376A**) ED1 00111010... (MSB) 01010011... (LSB) ED2



# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (7)

- > 56 Gbaud PAM4 BER測定:
- 高Baud-rateのBER測定に対応
- MP1862A 56 G/64 Gbit/s DEMUXの高入力感度性能(Typ. 25 mV Eye Height)により正確な再現性の高い測定に貢献



# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (8)

#### 対応テストパターン

対応パターン一覧
PRBS
PRBS13Q, PRQS10
Gray PRBS13Q
SSPR
JP03A, JP03B
Square
Transmitter Linearity Test Pattern

#### ▶ 詳細

PRBS 7,9,10,11,15,20,23\*,31\* (\*PPG、およびG0376AとEDのセットにて対応)

**PRBS13Q, PRQS10**: Quaternary Sequenceパターン。

PRBS発生回路から自然に発生でき、ランダム性はPRBSと同等のままPAM4に展開できることから、PAM4テストパターンとして定義されているパターンです。

Gray PRBS13Q: CEI-56G-VSR-PAM4で規定しているTransmitter OutputやReceiver Inputの振幅、

Eye Height、Eye Width、VEC(Vertical Eye Closure)性能をスコープで評価するためのパターンです。パターン長(8191ビット)はスコープでキャプチャー可能な長さで、ランダム性の高い次数が選択されています。

また、PAM4信号は2ビットのペアで4レベルを表現しますが、1レベルの変動に対して、 $01 \rightarrow 10$ のように2ビットの変動を検出してしまう場合があります。それを避けるため、送信側ではGray code( $00 \rightarrow 00$ 、 $01 \rightarrow 01$ 、 $10 \rightarrow 11$ 、 $11 \rightarrow 10$ )、受信側ではその反対のGray decodeが用いられます。



# MP1800AシリーズによるPAM4 BER測定 (9)

#### **SSPR** (Short Stress Pattern Random):

SSPRパターンはCEI 3.1で定義されている32,762 bit長のパターンで、パターン長はPRBS15相当で、テスト信号としてのストレス性が高いことから、PAM4評価用パターンとして検討されています。

#### JP03A:

"0303···"パターン列で、TransmitterのRjジッタ評価用パターン。

#### **JP03B:**

"03"が15連続、つづいて"30"が16連続する62シンボルのパターンです。

TransmitterのEven-Oddジッタ評価用パターンです。

#### **Square:**

"33333330000000"パターン列で、光インタフェースのOMA評価用に使用します。(OMA: Optical Modulation Amplitude)

#### **Transmitter linearity Test Pattern:**

PRBS13Q パターンを使用。

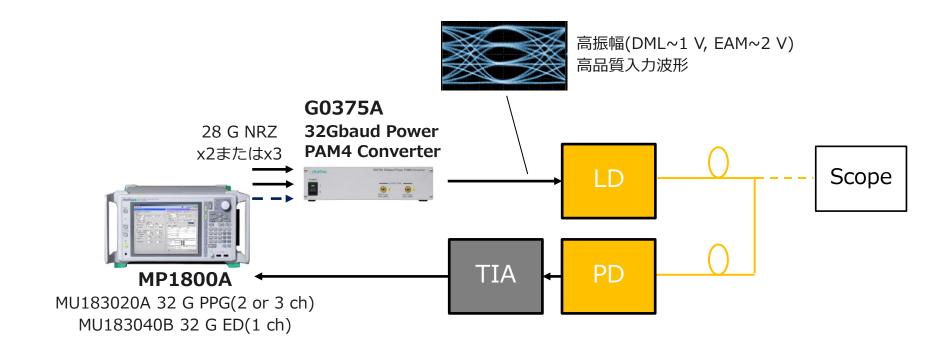
$$R_{LM} = \min((3 \times ES1), (3 \times ES2), (2 - 3 \times ES1), (2 - 3 \times ES2))$$

$$V_{mid} = (V_0 + V_3)/2, ES1 = (V_1 - V_{mid})/(V_0 - V_{mid}), ES2 = (V_2 - V_{mid})/(V_3 - V_{mid})$$
(120D-5)



#### Main Application (1)

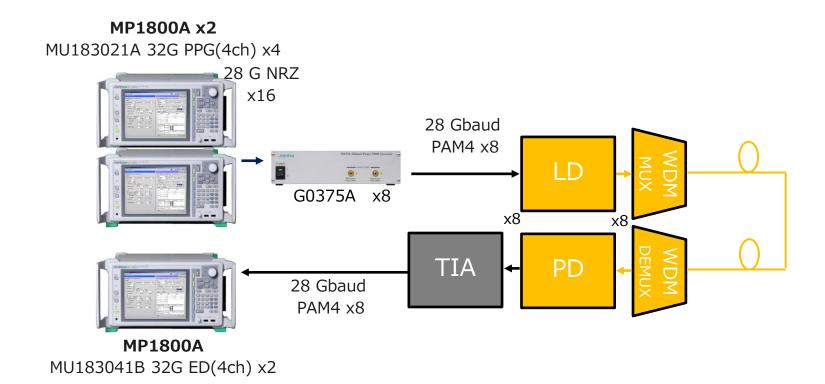
- ➤ 400 GbE Transceiver用28 Gbaud TOSA/ROSA評価
  - ・高振幅・低ジッタPAM4信号
  - ・PAM4 Linearityの制御
  - ・高入力感度32G EDによるPAM4 BERのマージン測定が可能





# Main Application (2)

- ➤ 400 GbE Transceiver用400GAUI-8評価
  - 8 ch PAM4マルチチャンネルと拡張性
  - クロストーク検証をサポート



#### Main Application (3)

- ▶ 400GAUI-8, CEI-56G-VSR-PAM4 電気インタフェースのRxテストをサポート
  - ・低ジッタPAM4波形
  - ・エンファシス機能 4Tap
  - ・ジッタ付加機能 RJ/BUJ/SJ
  - ・CTLE (ピーク周波数14 GHz)
  - ・CDR機能(MU183040B-022とセット)

#### MP1800A

